Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 679-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 690-679

اثر بخاردهی و خشک کردن به روش جت برخوردی روی تغییرات رنگ برنج نیم‌پز

غلامرضا چگینی*[1]- ایمان حسن‌زاده[2]

تاریخ دریافت: 1395/07/04
تاریخ پذیرش: 1398/01/25

چکیده

در این مطالعه به‌منظور بررسی اثر خشک‌کردن برنج نیم‌پز شده با استفاده از روش جت برخوردی، سینیتیک خشک شدن همراه با صفات شاخص سفیدی و اختلاف رنگ مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور نمونه‌ها پس از خیساندن (در دمای 70 درجه سلسیوس به مدت 5 ساعت) به مدت 20 و 25 دقیقه بخاردهی شده و در دماهای 90، 100 و 110 درجه سلسیوس با سرعت هوای 15 و 20 متر بر ثانیه خشکانیده شدند پس از آن شاخص‌های کمی (L، a و b) سیستم رنگ‌سنجی CIELAB اندازه‌گیری گردید. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل آماری حاکی از آن است که دمای هوای خشک‌کن نسبت به دو پارامتر مدت بخاردهی و سرعت هوا تاثیر بیشتری بر رنگ برنج نیم‌پز شده داشت. بیشترین مقدار سفیدی 63/884 و کمترین مقدار اختلاف رنگ 29/432 در مدت بخاردهی 20 دقیقه، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و دما 90 درجه سلسیوس به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: جت برخوردی، برنج نیم‌پز شده، شاخص سفیدی، اختلاف رنگ

مقدمه

یکی از انواع برنج متداول در آسیای شرقی و آفریقا برنج نیم‌پز شده (Parboiled) می‌باشد که توسط تعداد زیادی از مردم مصرف می‌شود (Bhattacharya, 1985; Ramalingam & Raj, 1996) این نوع برنج از شلتوکی تهیه می‌شود که قبل از خشک کردن و آسیاب کردن در آب گرم عمل‌آوری شده باشد. این عمل‌آوری خاص گرمایی، نیم‌پز شدن نامیده می‌شود (Islam *et al.*, 2004). برنج نیم‌پز شده شامل سه مرحله اضافی خیساندن (Soaking)، بخاردهی (Steaming) و خشک‌کردن (Drying) نسبت به برنج سفید می‌باشد. پس از این مراحل، تولید برنج نیم پز شده همانند برنج سفید خواهد بود. پدیده‌های اصلی که در طول نیم‌پز شدن برنج ایجاد می‌شود عبارتند از: انتقال مواد مغذی سبوس از لایه‌های بیرونی به لایه‌های درونی دانه در طول خیساندن، غیرفعال شدن لیپاز که به‌طور طبیعی در سبوس توزیع شده و ژلاتینه شدن نشاسته (Demont *et al*., 2012).

برنج نیم‌پز رنگی متفاوت نسبت به برنج سفید دارد که احتمالاً رنگ قهوه‌ای برنج نیم‌پز ناشی از انتشار رنگ پوسته در آندوسپرم دانه باشد (Lamberts *et al*., 2006b; Lamberts *et al*., 2006a). تغییرات رنگ برنج نیم‌پز با افزایش دمای خیساندن (Islam *et al*., 2004; Sareepuang *et al*., 2008)، افزایش مدت بخاردهی (Bhattacharya & Rao, 1966; Lamberts *et al*., 2006a) و همچنین افزایش فشار بخاردهی دانه هیدراته (Bhattacharya, 2011) افزایش می‌یابد. افزایش درجه حرارت آب در مرحله خیساندن موجب افزایش جذب رنگ پوسته (Lamberts *et al*., 2006a) و جذب مواد رنگی (از جمله غنی شدن اسید فولیک) (Kam *et al*., 2012) می‌شود که تاثیر منفی بر سفیدی دانه برنج دارد.

خشک کردن پس از مراحل خیساندن و بخاردهی برنج انجام می‌شود. روش خشک‌کردن عامل کلیدی موثر بر کیفیت آسیابانی برنج است (Bhattacharya & Swamy, 1967). در میان گزینه‌های خشک‌کردن برای مواد با رطوبت بالا خشک‌کن‌های جت برخوردی هوا (Air Jet Impingement Drying) سریع‌تر و با عملکرد بالای انرژی عمل خشک‌کردن را انجام می‌دهند (Varilek & Walker, 1984) خشک‌کن‌های جت برخوردی علاوه بر دارا بودن نرخ انتقال حرارت بالاتر، معمولاً گرما را با یکنواختی بیشتری به همه قسمت های مختلف محصول منتقل می‌کند. استفاده از خشک‌کن‌های جت هوا برای خشک‌کردن محصولات گرانولی مانند دانه‌های کاکائو، دانه‌های قهوه، برنج، آجیل‌ها و غیره سبب انجام سریع‌تر عملیات و خشک شدن یکنواخت‌تر توده محصول می‌شود (Mujumdar, 2014; Rickard *et al*., 1993). در این تکنولوژی به‌دلیل سرعت بالای جت هوا، جریان هوا بر روی محصول، دچار تلاطم و آشفتگی شده و سبب افزایش سرعت انتقال حرارت و جرم در ماده و در نهایت کاهش زمان خشک

1 و 2- به‌ترتیب دانشیار و دانشجوی کارشناسی‌ارشد، فناوری پس از برداشت، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه تهران.
(*- نویسنده مسئول: Email: chegini@ut.ac.ir)
DOI: 10.22067/ifstrj.v16i1.74928

شدن محصول می‌گردد (Nemati *et al.*, 2010). هدف از این تحقیق مطالعه و بررسی خشک‌کردن برنج نیم‌پز با استفاده از خشک‌کن جت برخوردی بود. برای این منظور اثرات مدت بخاردهی، سرعت و دمای هوا بر روی شاخص سفیدی، اختلاف رنگ و سینیتیک خشک شدن مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق بر روی رقم هاشمی که رقمی رایج در استان گیلان می‌باشد، در آزمایشگاه پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران انجام شد قبل از شروع آزمایش نمونه‌ها از کاه و کلش‌های موجود به‌طور دستی تمیز شدند. اثر پارامترهای مدت بخاردهی در دو سطح (20 و 25 دقیقه)، دما در سه سطح (90، 100 و 110 درجه سلسیوس) و سرعت هوا خشک‌کن دو سطح (15 و 20 متر بر ثانیه) بر روی شاخص سفیدی، اختلاف رنگ و سینیتیک خشک شدن برنج نیم‌پز مورد بررسی قرار گرفت. از نمونه‌های 100 گرمی برای تعیین رطوبت شلتوک استفاده شد برای این کار نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 130 درجه سلسیوس در دستگاه آون قرار داده شدند (Chen *et al.*, 1997) سپس با استفاده از رابطه 1 مقدار رطوبت اولیه بر پایه تر به‌دست آمد. به‌منظور اندازه‌گیری رطوبت شلتوک در مراحل مختلف، نمونه‌ها در فواصل زمانی مشخص (دو دقیقه) با ترازوی دیجیتال (Philippines EMB 600 – 2, Kern) با دقت 0/01 گرم توزین و رطوبت محاسبه شد.

$$M_w = \frac{W_w - W_d}{W_w} \qquad (1)$$

که در این رابطه: M_w مقدار رطوبت بر پایه تر، W_w وزن ماده تر (گرم)، W_d وزن ماده خشک (گرم).

فرآیند نیم‌پز کردن در برنج شامل سه مرحله خیساندن، بخاردهی و خشک‌کردن می‌باشد.

خیساندن

اولین مرحله از فرآیند نیم‌پز کردن خیساندن می‌باشد. براساس محتوای آمیلوز رقم هاشمی (20-25%) دانه‌های شلتوک تمیز شده به‌منظور به‌دست آوردن دانه برنج اشباع شده (رسیدن به رطوبت تعادلی)، شلتوک‌ها درون کیسه‌هایی از جنس پارچه تنظیف (متقال) قرار داده شد و به مدت 5 ساعت در بن ماری (W6I4B ،Water bath) با دمای 70 درجه سلسیوس خیسانده شد (Juliano, 1979; Luh, 1980). نمونه‌ها پس از خیساندن به مدت 1 ساعت در دمای محیط باقی ماندند تا آب در دانه برنج نفوذ کرده و به تعادل برسد.

بخاردهی

نمونه‌ها پس از خیساندن، با دمای 120 درجه سلسیوس تحت فشار اتمسفر در اتوکلاو (Autoclave، 121A، ایران) در دو دوره زمانی 20 و 25 دقیقه بخاردهی شدند و بعد از آن به مدت 30 دقیقه در دمای محیط خنک شدند (Pruengam *et al.*, 2014). رطوبت برنج نیم‌پز پس از خنک شدن در محدوده 37-33% (بر پایه تر) بود.

خشک کردن

از خشک‌کن جت برخوردی ساخته شده در طرح پایان نامه نعمتی (Nemati et al., 2010) برای تکمیل فرآیند نیم‌پز استفاده شد. دما در این خشک‌کن تا 250 درجه سانتی‌گراد قابل تنظیم و سرعت آن m/s 28-1 می‌باشد. در شکل 1 نمایی از خشک‌کن جت برخوردی آورده شده است این خشک‌کن از یک دمنده 3 کیلووات برای دمیدن هوا، گرمکن الکتریکی با توان 13/5 کیلووات، ترموکوپل نوع K (Taiwan Lutron, probe TP) برای اندازه‌گیری دما، اینورتر (Taiwan DELTA, VFD - EL) برای اندازه‌گیری و کنترل سرعت، دو محفظه پلنوم همراه با شیر برای کنترل جریان هوا، مدار کنترل دما، محفظه خشک‌کن آلومینیومی و نازل‌ها تشکیل شده است. دمنده هوا را برای گرم شدن به محفظه گرمکن انتقال می‌دهد و پس از ورود هوای گرم به محفظه پلنوم از طریق نازل‌ها به‌طور مستقیم به محصول برخورد می‌کند.

سینیتیک خشک شدن

به‌منظور بررسی سینیتیک خشک شدن از منحنی آهنگ (شدت) خشک شدن (DR) بر اساس تغییرات رطوبتی محصول استفاده شد. آهنگ خشک شدن، نسبت وزن آب خارج شده از جسم به وزن ماده خشک در واحد زمان می‌باشد برای محاسبه از رابطه 5 استفاده شد (Akpinar *et al.*, 2003):

$$DR = \frac{W_1 - W_2}{W_3\, t} \qquad (2)$$

که در این رابطه:DR آهنگ خشک شدن (دقیقه× گرم ماده خشک/ گرم آب)، W_2 وزن نمونه در هر مرحله (گرم)، W_1 وزن نمونه در مرحله قبلی (گرم)، W_3 وزن کاملاً خشک نمونه (گرم)، t مدت زمان سپری شده تا مرحله مورد نظر (دو دقیقه) می‌باشد.

رنگ

بعد از فرآوری، نمونه‌ها به آزمایشگاه گروه علوم مهندسی صنایع غذایی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران انتقال داده شد. سپس شاخص‌های کمی L، a و b نمونه‌ها با سیستم رنگ‌سنجی CIELAB با استفاده از رنگ‌سنج (Konica Minolta، ژاپن، C360) اندازه‌گیری شد. قبل از هر بار اندازه‌گیری رنگ نمونه‌ها، دستگاه با

استفاده از یک سطح سفید استاندارد (L=100) کالیبره شد و آزمایش‌ها در سه تکرار انجام گردید. اختلاف رنگ و شاخص سفیدی با استفاده از روابط 6 و 7 محاسبه شد (Maskan, 2001; Sripinyowanich & Noomhorm, 2011).

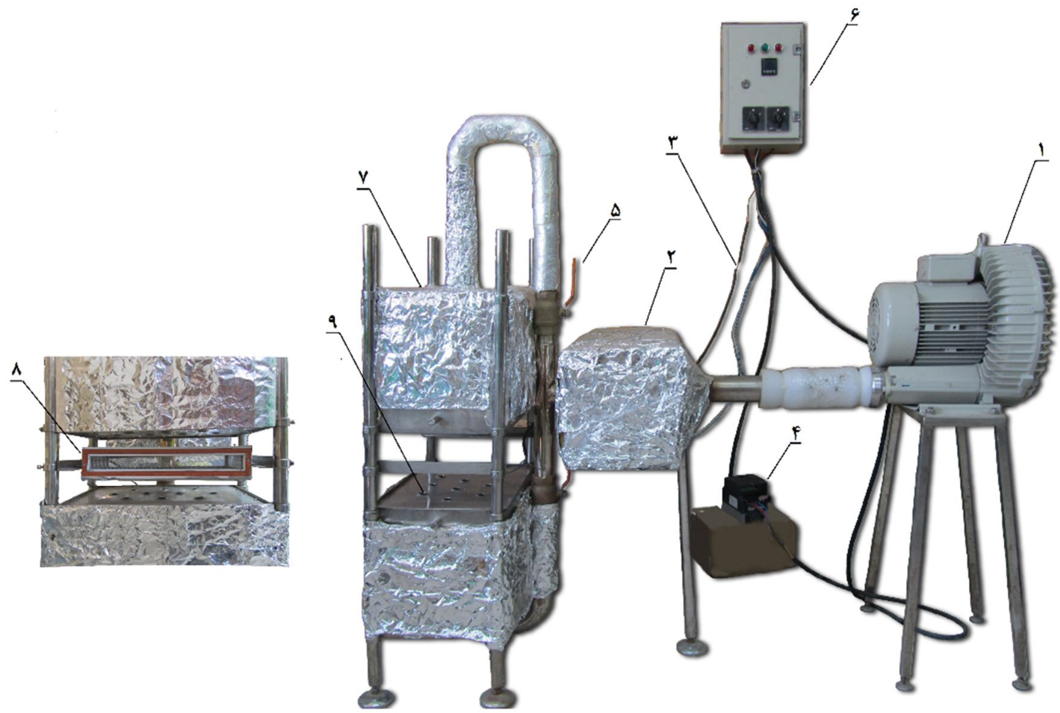
$$\Delta E = (\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \quad (6)$$

$$WI = 100 - [(100 - L)^2 + (b)^2 + (a)^2]^{1/2} \quad (7)$$

ΔE : اختلاف رنگ (بی بعد)

WI: شاخص سفیدی (بی بعد)

برای تجزیه تحلیل داده‌ها از آزمایش کرت‌های خردشده فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار و مقایسه میانگین اثرات اصلی و متقابل عوامل مستقل از آزمون چند دامنه‌ای استفاده شد.



شکل 1- نمایی از خشک کن جت برخوردی

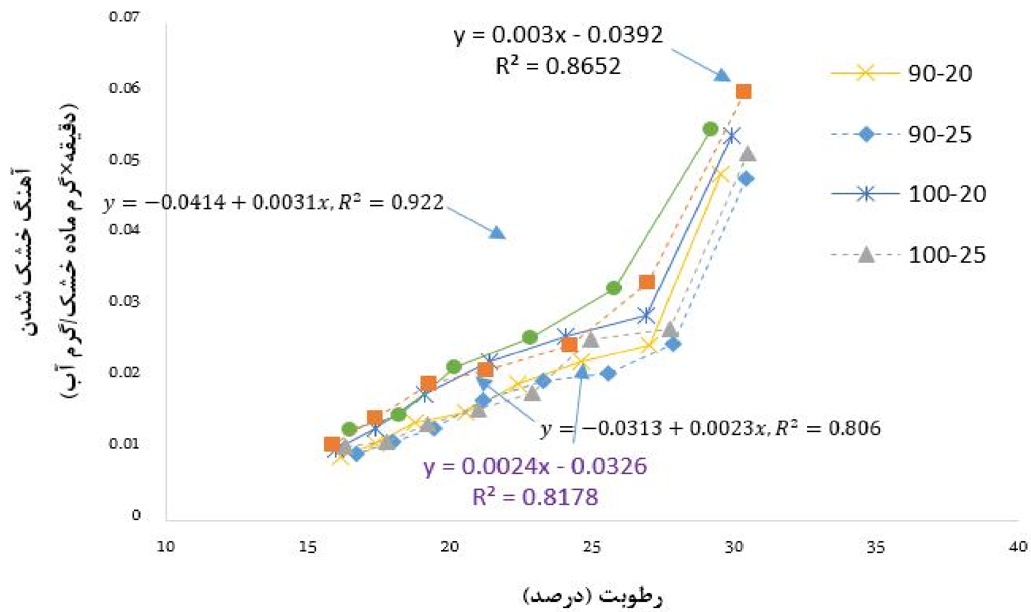
1- دمنده؛ 2- گرمکن الکتریکی؛ 3- ترموکوپل؛ 4- اینورتور ؛ 5- شیر؛ 6- PID کنترلر؛ 7- پلنوم؛ 8 و 9- محفظه خشک‌کن و نازل‌ها.

نتایج و بحث

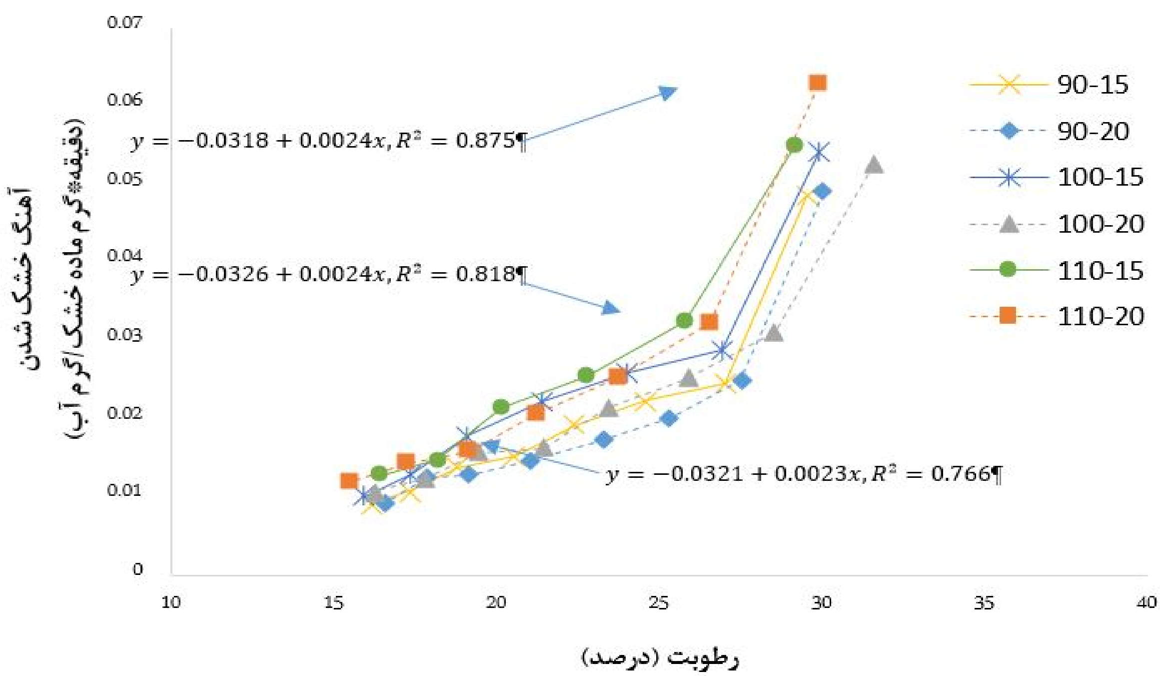
در تمامی شرایط آزمایش نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون نشان داد که آهنگ خشک شدن با کاهش رطوبت به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. آهنگ خشک شدن شلتوک نیم‌پز برای سرعت هوای 15 متر بر ثانیه با مدت بخاردهی و دمای هوای مختلف در شکل 2 نشان داده شده است.

در همه دماها با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه شیب نمودار آهنگ خشک شدن به رطوبت کاهش یافته و سرعت خشک شدن محصول کاهش یافت و این نشان می‌دهد که رطوبت با افزایش مدت زمان بخاردهی بیشتر جذب محصول شده است Ramalingam, (1996). همچنین افزایش دما در مدت‌های بخاردهی‌های مختلف موجب افزایش سرعت خشک شدن شده است،با افزایش دما نرخ تبخیر بیشتر شده و آهنگ خشک شدن نیز بیشتر می‌شود(Mujumdar, 2014). در این حالت بیشترین شیب 0/0031 برای دمای 110 درجه سلسیوس و مدت بخاردهی 20 دقیقه بود و کمترین این مقدار 0/0023 برای دمای 90 درجه سلسیوس و مدت بخاردهی 25 دقیقه به‌دست آمد. با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه نتایج حاصل از تغییرات دمایی مشابه سرعت هوای 15 متر بر ثانیه بود

تاثیر تغییرات سرعت و دمای هوا در مدت بخاردهی 20 دقیقه بر آهنگ خشک شدن در شکل 3 آورده شده است. همانطور که پیداست افزایش سرعت و افزایش دمای هوا موجب افزایش آهنگ خشک شدن شد.

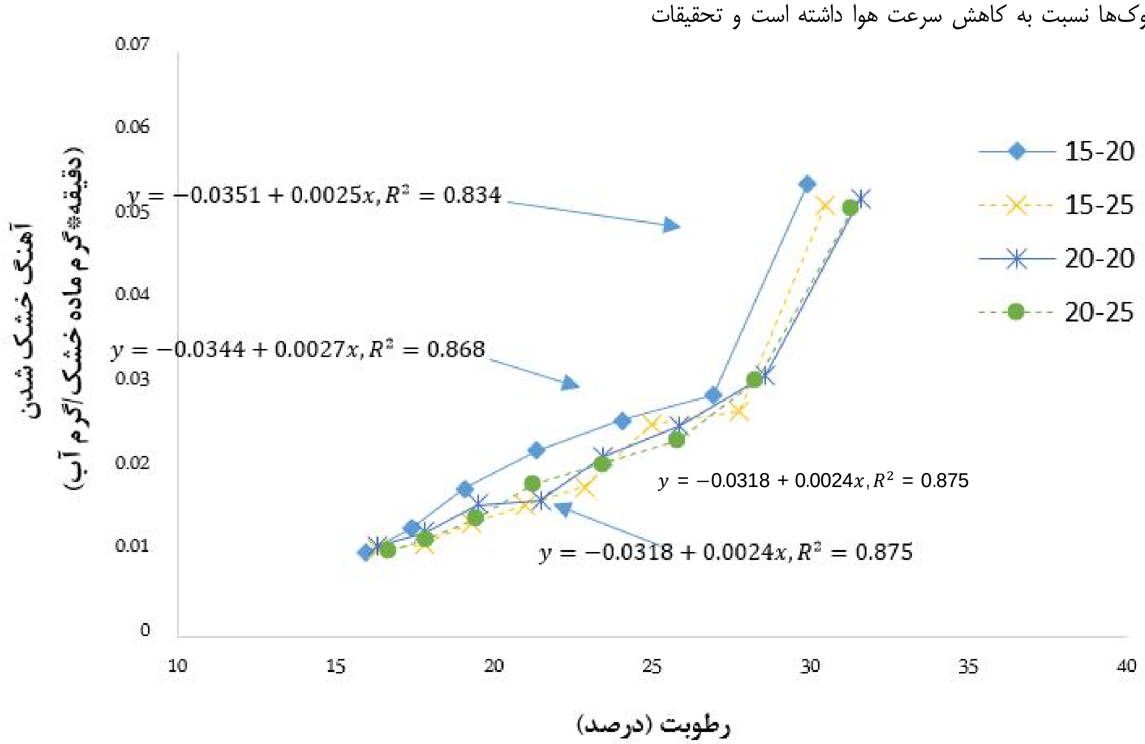


شکل 2- تاثیر تغییرات مدت بخاردهی و دمای هوا بر آهنگ خشک شدن شلتوک در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه.



شکل 3- تاثیر تغییرات سرعت و دمای هوا بر آهنگ خشک شدن شلتوک در مدت بخاردهی 20 دقیقه.

همانطور که در شکل 3 نشان داده شده است با تغییر سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در دمای 90 درجه سلسیوس مقدار شیب 0/0001 کاهش یافت و با افزایش دما از 90 به 110 درجه سلسیوس در سرعت هوای20 متر بر ثانیه شیب خط تا 0/0008 افزایش پیدا کرد که این نتیجه نشان داد افزایش دما تاثیر بیشتری بر آهنگ خشک شدن توده شلتوک‌ها نسبت به کاهش سرعت هوا داشته است و تحقیقات قبلی چنین نتیجه‌ای گزارش شده است (Demont *et al.*, 2012). لازم به ذکر است تغییرات سرعت هوا در مدت بخاردهی 25 دقیقه نسبت به 20 دقیقه متفاوت بود. با افزایش دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی 25 دقیقه آهنگ خشک شدن افزایش یافت با این حال سرعت خشک شدن شلتوک بیشتر تحت تاثیر تغییراتی دمایی بود.



شکل 4- تاثیر تغییرات مدت بخاردهی و سرعت هوا بر آهنگ خشک شدن شلتوک در دمای 100 درجه سلسیوس.

شکل 4 نشان‌دهنده تاثیر تغییرات سرعت هوا و مدت بخاردهی بر آهنگ خشک شدن در دمای 100 درجه سلسیوس می‌باشد. این روند برای سایر دماها (90 و 110 درجه سلسیوس) نیز مشاهده گردید. نتایج نشان داد در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه، با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه مقدار شیب خشک‌کردن از 0/0027 به 0/0025 کاهش یافت ولی با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در مدت بخاردهی 20 دقیقه شیب خط به مقدار 0/0003 افزایش یافت. این نتایج حاکی از نفوذ و جذب رطوبت در دانه است که زمان بیشتری در مرحله خشک شدن به‌خود اختصاص می‌دهد (Ramalingam, & Anthoni, 1996). نتایج حاصل از تحلیل واریانس در جدول 1 نشان داد که مقادیر متغیر دما بر اختلاف رنگ و شاخص سفیدی در سطح 1% معنی‌دار بود؛ ولی اثر مدت بخاردهی و سرعت هوا معنی‌دار نبود.

جدول 2 نتایج آزمون مقایسه میانگین WI و $E\Delta$ در سطوح مختلف مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا را نشان می‌دهد.

همانطور که از جدول 2 پیدا است کاهش مدت بخاردهی و سرعت هوا موجب افزایش مقدار میانگین شاخص سفیدی شد ولی بین سطوح مختلف اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همچنین با افزایش دمای از 90 به 100 درجه سلسیوس شاخص سفیدی به‌طور میانگین از 59/520 به 54/889 کاهش یافت. در این حالت بیشترین سفیدی مربوط به دما 90 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 59/520 و کمترین سفیدی با مقدار 54/549 مربوط به دمای 110 درجه سلسیوس بود. ضمناً مشاهده گردید که بین دمای 90 درجه سلسیوس و دو دمای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری در سطح 5% وجود دارد، با این حال بین دماهای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری یافت نشد. همچنین جدول 2 نشان داد که با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه مقدار میانگین اختلاف رنگ از 36/584 به 37/898 افزایش می-یابد ولی اختلاف معنی‌داری بین آنها نیست. افزایش دما از 90 به 100 درجه سلسیوس موجب افزایش مقدار اختلاف رنگ از 34/029 به

38/727 شد. در این حالت بیشترین اختلاف رنگ برای دما 110 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 38/967 بود و کمترین این مقدار 34/029 با دمای 90 درجه سلسیوس حاصل شد. همانطور که پیداست بین دماهای 100 و 110 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری نبود ولی بین دماهای 90 و 100 درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری در سطح 5% وجود داشت. یکی دیگر از متغیرهای مورد بررسی بر روی اختلاف رنگ سرعت هوا بود. با افزایش سرعت از 15 به 20 متر بر ثانیه مقدار میانگین اختلاف رنگ از 38/973 به 37/509 کاهش یافت ولی تفاوت معنی-داری حاصل نشد.

شکل 5 اثر متقابل دما بر شاخص سفیدی و اختلاف رنگ را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل 5- الف پیداست به‌طور کلی با افزایش مدت بخاردهی و دما سفیدی برنج نیم‌پز کاهش یافت. بیشترین شاخص سفیدی برای مدت بخاردهی 20 دقیقه با دمای 90 درجه سلسیوس با مقدار 60/787 بود و کمترین شاخص سفیدی برای مدت بخاردهی 25 دقیقه و دمای 100 درجه سلسیوس با مقدار میانگین 53/253 به‌دست آمد که اثر مدت بخاردهی را نسبت به دما نشان می‌دهد. زمان بخاردهی بیشتر و دمای بیشتر باعث قهوه‌ای تر شدن برنج می‌شود در حقیقت یک فرآیند پخت انجام می‌گیرد که رنگ محصول را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد و این تغییرات دما و بخاردهی در تحقیقات قبلی نیز اثرات مشابه را نشان می‌دهد (Lamberts *et al.*, 2006 a,b). با توجه به شکل 5- ب اختلاف رنگ با افزایش مدت بخاردهی و دما افزایش یافت. بجز در دمای 110 درجه سلسیوس با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه اختلاف رنگ از 39/148 به 37/779 کاهش یافت و این نشان می‌دهد که افزایش دما تاثیرات بیشتری نسبت به مدت بخاردهی بر اختلاف رنگ دارد (Lamberts *et al.*, 2006 a,b).

جدول 1- نتایج تحلیل واریانس تاثیر مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا بر WI و ΔE.

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات WI	میانگین مربعات ΔE
مدت بخاردهی (a)	1	13/271$^{n.s}$	15/534$^{n.s}$
خطا a	4	4/248$^{n.s}$	4/862$^{n.s}$
دما (b)	2	92/552**	93/029**
سرعت هوا (c)	1	3/094$^{n.s}$	2/585$^{n.s}$
ab	2	22/997*	30/894*
ac	1	42/315*	46/986*
bc	2	75/496**	77/508**
abc	2	14/866$^{n.s}$	14/902$^{n.s}$
خطا	20	8/428	8/778
ضریب تغییرات		5/155	7/956

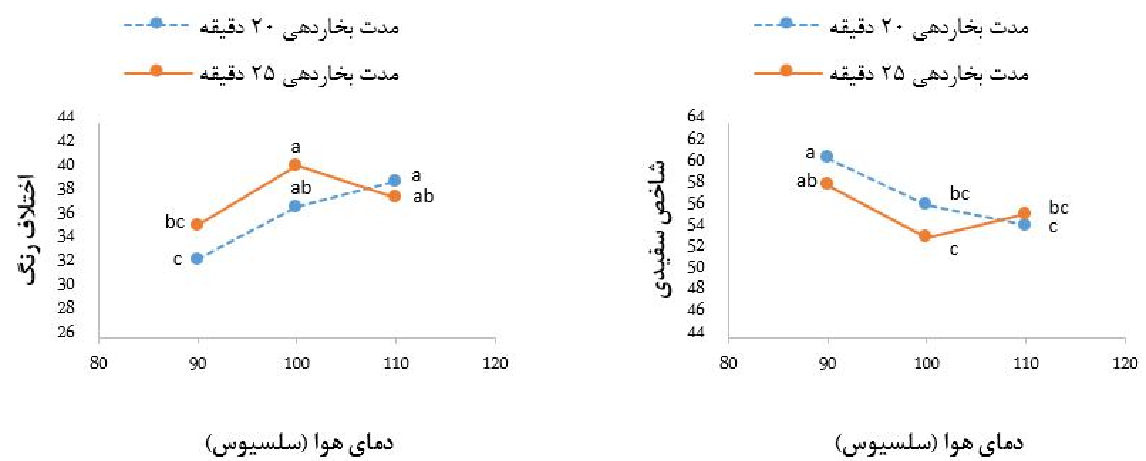
* وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 5%، ** وجود اختلاف معنی‌دار در سطح 1% و n.s عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین سطوح مختلف.

جدول 2- نتایج آزمون مقایسه میانگین WI و ΔE در سطوح مختلف مدت بخاردهی، دما و سرعت هوا.

تیمارها	مدت بخاردهی(دقیقه)		دما(سلسیوس)			سرعت هوا(متر بر ثانیه)	
سطوح	**20**	**25**	**90**	**100**	**110**	**15**	**20**
میانگین WI	56/613^{a}	56/026^{a}	59/520^{a}	54/889^{b}	54/549^{b}	56/927^{a}	55/712^{a}
میانگین ΔE	36/584^{a}	37/898^{a}	34/029^{b}	38/727^{a}	38/968^{a}	38/973^{a}	37/509^{a}

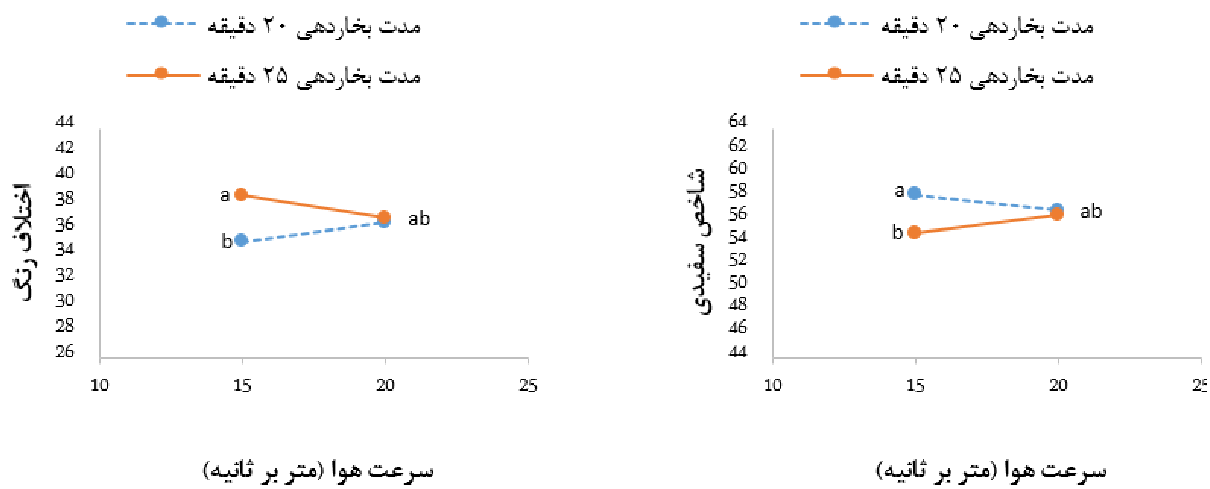
a و *b*: اختلاف معنی‌دار بودن را نشان می دهد.

اثر متقابل سرعت هوا و مدت بخاردهی بر روی شاخص سفیدی در شکل 6- الف نشان داده شده است. افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه در سرعت 15 متر بر ثانیه موجب کاهش میانگین سفیدی از 58/304 به 54/922 شد که اختلاف معنی‌داری را در سطح 5% نشان داد. از شکل 6- ب ملاحظه گردید در سرعت هوای 15 متر بر ثانیه میانگین اختلاف رنگ با افزایش مدت بخاردهی از 20 به 25 دقیقه از 35/173 به 38/772 افزایش می‌یابد. لازم به ذکر است که اثرات متقابل سرعت هوا و مدت بخاردهی بر روی اختلاف رنگ با اطمینان 95% معنی‌داری شد. انتقال جرم در رطوبت‌های بالا زمان بیشتری به خود اختصاص می دهد و در فرآیند خشک شدن سبب اختلاف رنگ بیشتر محصول می‌شود (Chen, *et al.*, 1997;Sripinyowanich, *et al.*, 2011).



(الف) (ب)

شکل 5- رابطه بین شاخص سفیدی در دماهای مختلف(الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در دماهای مختلف (ب)



(الف) (ب)

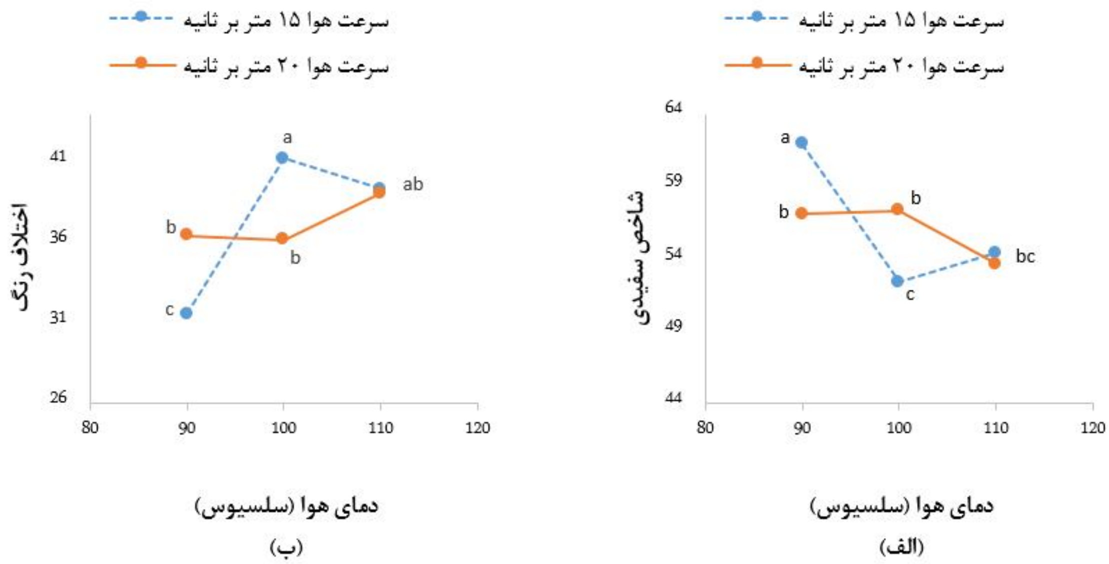
شکل 6- رابطه بین شاخص سفیدی در سرعت‌های مختلف(الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در سرعت‌های مختلف (ب).

همانطور که از شکل 7 پیداست اثرات متقابل دما و سرعت هوا به‌ترتیب بر شاخص سفیدی و اختلاف رنگ با درجه اطمینان 95% معنی‌دار بود. با افزایش سرعت هوا از 15 به 20 متر بر ثانیه در دمای 90 درجه سلسیوس مقدار میانگین سفیدی از 61/952 به 57/088 کاهش یافت و این نشان می‌دهد که سرعت هوا زمان توقف و نفوذ دما و تغییر شاخص سفیدی را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد (Sareepuang *et al.*, 2008). به‌طور کلی نتایج نشان داد که شاخص سفیدی با افزایش دما کاهش می‌یابد. افزایش دما باعث قهوه‌ای شدن بیشتر دانه برنج می‌شود (Pruengam *et al.*,2014). به‌عنوان مثال در سرعت هوا 15 متر بر ثانیه شاخص سفیدی با افزایش دما از 90 به 100 درجه سلسیوس به‌طور میانگین از 61/952 به 52/421 کاهش یافت. اختلاف رنگ در سرعت هوا 15 متر بر ثانیه با افزایش دما از 90 به 100 درجه سلسیوس از مقدار میانگین 31/590 به 41/254 افزایش یافت با این حال در سرعت هوا 20 متر بر ثانیه این افزایش دما اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

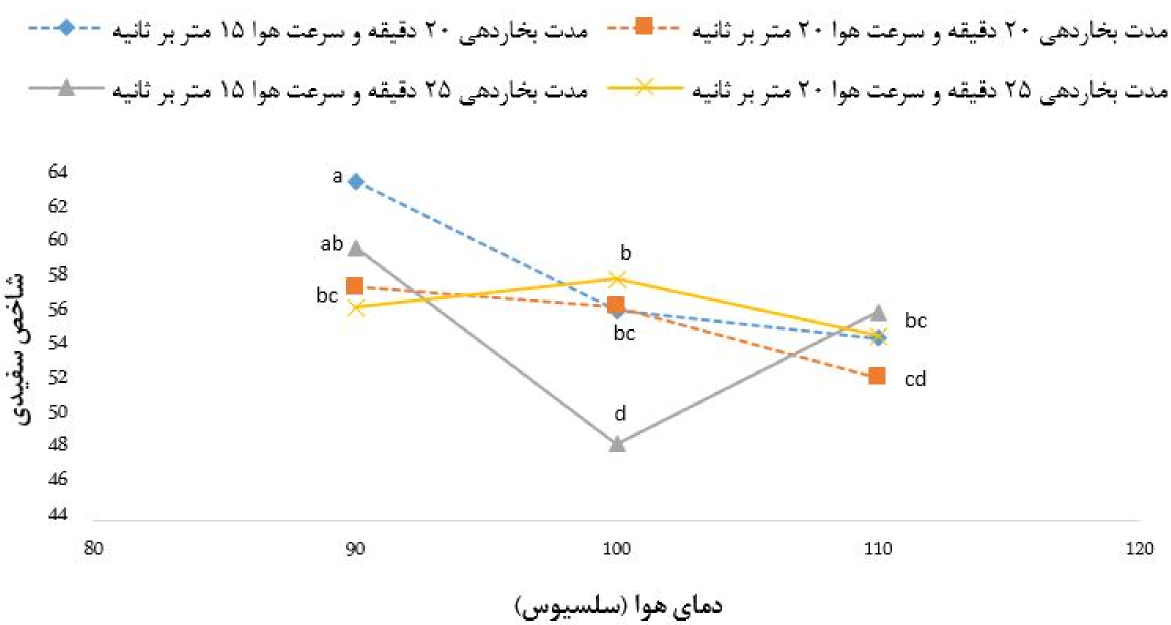
نتایج شکل 8 نشان داد که بیشترین سفیدی 63/884 در دما 90 درجه سلسیوس، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و مدت بخاردهی 20 دقیقه حاصل شد. کمترین سفیدی 48/537 در مدت بخاردهی 25 دقیقه، سرعت هوا 15 متر بر ثانیه و دما 100 درجه سلسیوس به‌دست آمد. این نتایج نشان می‌دهد که سرعت انتقال جرم (رطوبت و هوا) از لایه‌های

درونی دانه در حال خشک شدن رنگ آن را در سطح قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهد و با تغییر متغیرهای مذکور می‌توان به رنگ مورد نظر دست یافت (Maskan, 2001; Ramalingam & Anthoni,1996).

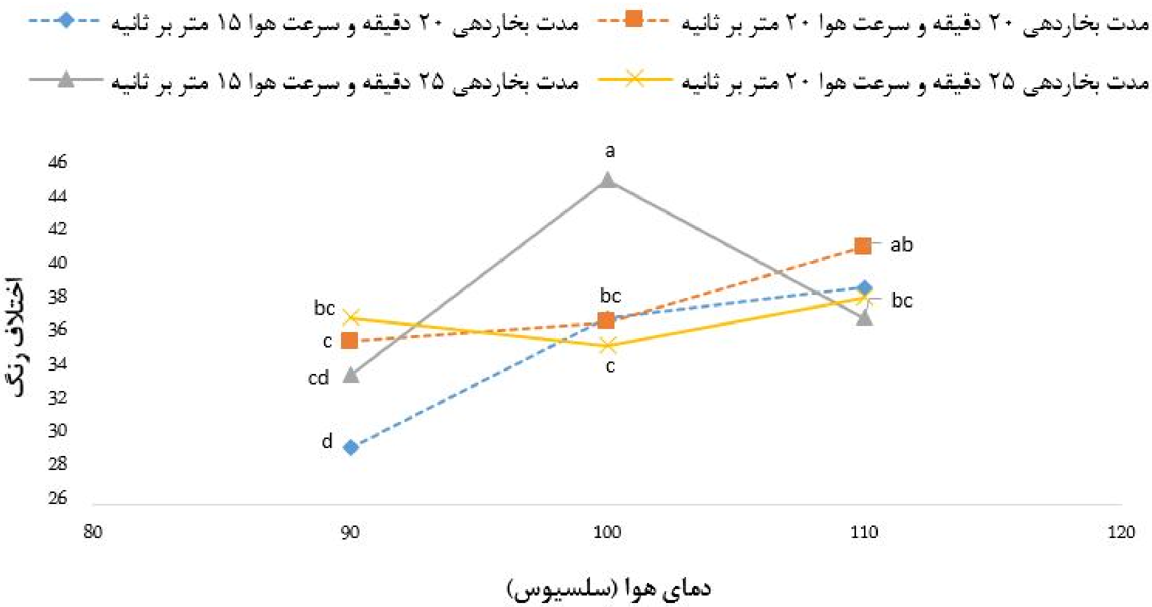
از نتایج شکل 9 ملاحظه شد که کمترین اختلاف رنگ 29/432 برای دما 90 درجه سلسیوس، سرعت هوای 15 متر بر ثانیه و مدت بخاردهی 20 دقیقه بود و بیشترین این مقدار 45/386 در دما 100 درجه سلسیوس، سرعت هوای 15 متر بر ثانیه و مدت بخاردهی 25 دقیقه حاصل شد.



شکل 7- رابطه بین شاخص سفیدی در سرعت هوا و دماهای مختلف(الف)- رابطه بین اختلاف رنگ در سرعت هوا و دماهای مختلف (ب).



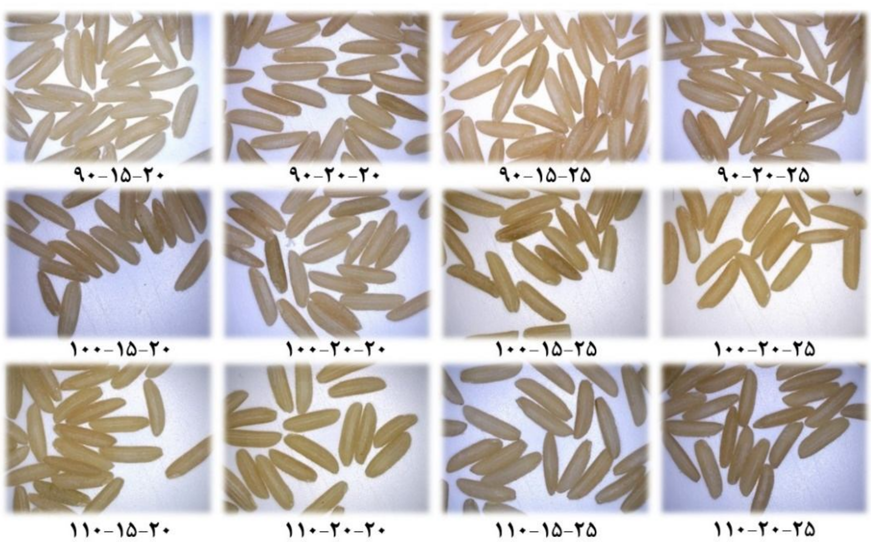
شکل 8- رابطه بین شاخص سفیدی، دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی مختلف



شکل **9**- رابطه بین اختلاف رنگ، دما و سرعت هوا در مدت بخاردهی مختلف

جدول **3**- اطلاعات آماری برای شاخص سفیدی و اختلاف رنگ.

متغیر	تعداد	میانگین	انحراف معیار	مجموع	کمترین	بیشترین
شاخص سفیدی (WI)	36	56/319	4/329	2027	46/040	66/470
اختلاف رنگ (ΔE)	36	37/241	4/449	1341	26/846	47/897



شکل **10**- تغییرات رنگ در نمونه‌های مختلف به‌ترتیب دما (سلسیوس)، سرعت هوا (متر بر ثانیه) و مدت بخاردهی (دقیقه).

افزایش مدت بخاردهی نسبت به افزایش سرعت هوا موجب اختلاف رنگ بیشتر شد. این نتایج نشان داد که با کاهش سرعت هوا و دما، برنج نیم‌پز سفیدتری با اختلاف رنگ کمتری به‌دست خواهد آمد تحقیقات مشابه نیز نتایج را تایید می‌کنند (Pruengam *et al*.,2014). جدول 3 اطلاعات آماری برای شاخص سفیدی و اختلاف رنگ را نشان می‌دهد همچنین همبستگی بین شاخص سفیدی و اختلاف رنگ همبستگی بالایی بود (r= -0/998) به‌دست آمد. شکل 10 تغییر رنگ نمونه‌های مختلف برنج نیم‌پز در دما، سرعت و مدت بخاردهی مختلف نشان می‌دهد

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان دادکه آهنگ خشک شدن برنج نیم‌پز با کاهش رطوبت به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. تغییرات دمایی برخلاف اثرات مدت بخاردهی و سرعت هوا بر اختلاف رنگ و شاخص سفیدی تاثیر معنی‌دار داشت و با کاهش سرعت هوا، مدت بخاردهی و دما برنج نیم‌پز شده سفیدتری با اختلاف رنگ بیشتری به‌دست خواهد آمد.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از پردیس ابوریحان دانشگاه تهران به‌خاطر حمایتهای بی‌دریغ کمال تشکر و قدردانی را داریم .

منابع

Anonymous. (2015).Moisture content and grain quality. http://riceknowledge bank.irri.org

Akpinarm E., Bicer,. Y & Yildiz, C. (2003). Thin layer drying of red pepper. J*ournal of food engineering*, 59(1), 99-104.

Bhattacharya, K.R., & Rao, PV. (1966). Processing conditions and milling yield in parboiling of rice. Journal of *Agricultural and Food Chemistry*, 14(5), 473-475.

Bhattacharya, K.R., & Swamy, YM Indudhara. (1967). Conditions of drying parboiled paddy for optimum milling quality. Cereal Chemistry, 44(11), 592-600.

Bhattacharya, K.R. (1985). Parboiling of rice. *Rice chemistry and technology*, 289-348.

Bhattacharya, K.R. (2011). Rice quality: a guide to rice properties and analysis: *Elsevier*.

Chen, H, Siebenmorgen, TJ, & Marks, BP. (1997). Relating drying rate constant to head rice yield reduction of long-grain rice. *Transactions of the A*SAE, 40(4), 1133-1139.

Demont, Matty, Zossou, Espérance, Rutsaert, Pieter, Ndour, Maimouna, Van Mele, Paul, & Verbeke, Wim. (2012). Consumer valuation of improved rice parboiling technologies in Benin. *Food Quality and Preference*, 23(1), 63-70.

Gardon, Robert, & Akfirat, J Cahit. (1965). The role of turbulence in determining the heat-transfer characteristics of impinging jets. I*nternational Journal of Heat and Mass Transfer*, 8(10), 1261-1272.

Islam, MR, Shimizu, N, & Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering*, 63(4), 433-439.

Juliano, BO. (1979). The chemical basis of rice grain quality. Chemical aspects of rice grain quality, 69-84.

Kam, Karrie, Arcot, Jayashree, & Ward, Rachelle. (2012). Fortification of rice with folic acid using parboiling technique: Effect of parboiling conditions on nutrient uptake and physical characteristics of milled rice. *Journal of Cereal Science*, 56(3), 587-594.

Lamberts, Lieve, Brijs, Kristof, Mohamed, Rasty, Verhelst, Neelke, & Delcour, Jan A. (2006a). Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. Journal of agricultural and food chemistry, 54(26), 9924-9929.

Lamberts, Lieve, Bie, E De, Derycke, Veerle, Veraverbeke, WS, De Man, W, & Delcour, JA. (2006b). Effect of processing conditions on color change of brown and milled parboiled rice. *Cereal chemistry*, 83(1), 80-85.

Luh, Bor Shiun. (1980). Rice: production and utilization: AVI Publishing Co., Inc.

Maskan, Medeni. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of food engineering*, 48(2), 169-175.

Mujumdar, Arun S. (2014). Handbook of industrial drying: CRC Press.

Munson, Bruce Roy, Young, Donald F, & Okiishi, Theodore Hisao. (1990). Fundamentals of fluid mechanics: New York.

Nemati, M.C., Chegini, Gh. R. , & Khazaei, J. (2010). Design, Development and Evaluation of a Jet Impingement Dryer. Msc. Dissertation, In Department of Agrotechnology Engineering, College Of Aboureyhan, University of Tehran.Iran. (in Farsi)

Pruengam, Pimpan., Soponronnarit, Somchart., Prachayawarakorn, Somkiat., & Devahastin, Sakamon. (2014). Rapid drying of parboiled paddy using hot air impinging stream Dryer. *Drying Technology*, 32(16), 1949-1955.

Ramalingam, N, & Raj, S Anthoni. (1996). Studies on the soak water characteristics in various paddy parboiling methods. *Bioresource technology*, 55(3), 259-261.

Rickard, A, Wuerthner, J, & Barret, G. (1993). Corn snacks: full speed ahead. Snack World, 3, 278-280.

Sareepuang, K, Siriamornpun, S, Wiset, L, & Meeso, N. (2008). Effect of soaking temperature on physical, chemical and cooking properties of parboiled fragrant rice. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4(4), 409-415.

Sripinyowanich, Jiraporn, & Noomhorm, Athapol. (2011). A new model and quality of unfrozen and frozen cooked rice dried in a microwave vibro-fluidized bed dryer. *Drying Technology*, 29(7), 735-748.

Varilek, P, & Walker, CE. (1984). Baking and ovens-history of heat technology. IV. Bakers digest.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 679-690

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 690-679

Effects of steaming time and impinging jet drying on color change of parboiled rice

Gh. R. Chegini[1*], I. Hasanzadeh[2]

Received: 2016.09.25
Accepted: 2019.04.14

[2]**Introduction:** One of the common rice in Asia and Africa is parboiled (semi-cooked) rice. In parboiled rice, three processes will be added in comparison to white rice which includes: soaking, steaming and drying. The parboiled rice has a different color than white rice, which is probably the parboiled rice brown color is due to the diffusion of shell color in the grain's endosperm. Changes in the color of parboiled rice increase with increasing soaking temperature, increasing the duration of steaming and also increasing the hydration pressure of the grain. Increasing the temperature of the water during the soaking stage increases the absorption of shell color and absorption of colored materials, including the enrichment of folic acid, which has a negative effect on the whiteness of rice grain. The important process of parboiled rice production is steaming and drying which change color and transfer residual moisture of rice. One of the drying methods that is being used in food and agriculture industry is Air Jet Impingement Drying (AJID) by rapid drying rate and high performance .In air jet impingement dryer, hot air passes in up and down of product with high pressure as heat and mass transfer increases as drying time is decreased. In this research the effect of drying parboiled rice using air jet impingement dryer, drying kinetics with whiteness index and color difference was evaluated.

Materials and methods: Samples were steamed after soaking for 20 and 25 minutes and at temperatures of 90, 100 and 110℃ with air velocity of 15 and 20 m/s were dried. The quantitative indicators CIELAB color system (L, a and b) were measured. The Air jet dryer contained a 3 kW air fan by air speed of 1-28 m/s, a 13.5 kW heater by air temperature of 250℃, an inverter for control and measuring of air velocity and K type thermocouple. For control and measuring of air velocity two plenum chamber (a plate for direction of air to nozzle) used by a control valve, temperature circuit control, an aluminum drying chamber and two nozzles. Fan transfer air to heater then transfer to plenum chamber then to nozzle at final the hot air directly contact on product.

Results and discussion: The results showed that with increase of air velocity from 15 m/s to 20 m/s in 90℃ air temperature average value of whiteness index was decrease from 61.952 to 57/088. With steaming time of 25 minutes, air velocity 15 m/s and the temperature 100 ℃ minimum whiteness index was 48.537. The maximum average value of whiteness index and the minimum average value of color differences were 63.884 and 29.432, respectively was obtained with steaming time 20 minutes, air velocity 15 m/s and the temperature 90 ℃. By increase of temperature and air velocity in steaming time 25 minutes were drying rate increases, in this condition rice drying rate more effected by change temperature. The results showed that change of temperature had significant effect on color in comparison to steaming time and air velocity. With decreases of parameters: air velocity, steaming time and air temperature parboiled rice samples with higher whiteness index was obtained. The results of statistical analysis showed that dryer air temperature have more effects than steaming time and air velocity parameters on the color changes of parboiled rice. Also drying rate decreased by moisture reduction and Increasing of both temperature and air velocity were significant effective in color index. The results of regression analysis showed that drying rate significantly decreases with decrease of moisture.

Keywords: Jet Impingement dryer, parboiled rice, Whiteness Index, Color Difference

1 and 2. Associate Professor and MSc Student, Mechanics of Biosystems Engineering, Agrotechnology Department, College of Aburaihan , University of Tehran, Tehran, IRAN.
*(Corresponding Author: chegini@ut.ac.ir)